

하수차집관로 준설토양의 콘크리트골재 적용성 평가에 관한 연구

김준하¹ · 김형욱¹ · 김인식² · 이재영^{1*}

¹서울시립대학교 환경공학과

²공운건설(주)

Feasibility Study on the Use of Dredged Soil from Sewage Pipes as a Concrete Material

Joon-Ha Kim¹ · Hyeong Wook Kim¹ · In-Sik Kim² · Jai-Young Lee^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, The University of Seoul

²Gongwoon Construction CO., LTD

ABSTRACT

Recently, the gap between demand and supply of natural aggregate has increased owing to the depletion of aggregate sources. Therefore, policy support is necessary for the stable supply of aggregate resources. Public and construction works experience problems when they do not receive a steady supply of aggregate. Further, instabilities in aggregate supply lead to increases in aggregate prices, and consequently construction costs. As a result, the likelihood of poor construction using low-grade aggregate increases. It is therefore crucial to put measures in place that deal with these issues. This study aims to reduce the load imposed by aggregate use on the environment by recycling soil dredged from sewage ducts to reduce the gap between supply and demand of fine aggregate. The dredged soil is assessed using an applicability test for quality characteristics and solidification with basic properties. This study aims to secure the safety of dredging soil and solidified objects through interior physical and chemical analyses and to utilize it as a base material for concrete solidification in the future.

Key words : Natural aggregate, Aggregate resource, Dredging soil, Concrete solidification

1. 서 론

최근 천연골재 부족과 함께 수급 또한 열악하여 골재자원의 안정적 공급을 위한 정책적인 지원이 시급한 상황이다. 골재의 수급이 불안정해지면 각종 건설공사에 차질이 생길뿐 아니라 골재가격의 상승으로 건설비용이 증가하게 되고, 저품질의 골재에 의한 부실 공사가 우려되기 때문에 이에 대한 대책 또한 시급하다.

대한건설협회의 “2014 건설경기 및 건설자재 전망”을 살펴보면, 골재의 소비량은 시멘트의 6배에 상응하고 있으며, 정부는 SOC 예산 증가와 건설투자액 확대를 실시함에 따라서 공공부문 및 토목부문의 시멘트 수요가 꾸준히 증가추세에 있다. 특히, 부동산 경기가 하락함에 따라

민간부문의 침체로 인해 상반기 시멘트 내수는 1.3% 감소하였으나, 하반기의 경우 지난해 감소(8.4%)에 따른 기저효과 및 정부의 SOC 추경편성으로 인해 전년 대비 3.6% 증가하였다. 따라서 2013년 연간내수는 전년대비 1.0% 증가하여 44,400천 ton으로 추정되며 향후 그 수요가 지속적으로 증가할 것으로 판단된다(CAK, 2013).

2013년도의 소비비율을 살펴보면 잔골재의 경우 강모래가 전체의 32.2% 쇄석이 18.3%로 바다모래와 쇄석이 전체의 50%이며, 굵은 골재의 경우 쇄석이 97%를 차지하고 있어 쇄석의 비중이 매우 높다. 이렇게 높은 비중을 차지하는 쇄석은 환경파손의 문제로 인해 앞으로 개발에 어려움이 따를 전망이다(CAK, 2013; Lee et al., 2010).

현재 폐콘크리트와 준설토 준설토양에서 재생 처리된

*Corresponding author : leejy@uos.ac.kr

Received : 2016. 3. 30 Reviewed : 2017. 2. 7 Accepted : 2017. 2. 24

Discussion until : 2017. 6. 30

재생골재의 경우, 노반재로서 사용이 가능하여 경쟁력을 갖고 있지만, 향후 재생골재의 활용이 다시 사회적 문제가 될 가능성이 있다. 따라서 재생골재의 활용방법이 다른 천연골재의 수요를 충족시킬 수 있는 기술개발이 시급한 실정이다(Lee and Kim, 1998).

본 연구에서는 재활용률이 낮은 하수차집관로 준설토양을 재사용하여 환경부하를 감소시키고, 잔골재 수급불균형 문제에 도움을 주고자하며 준설토양의 기초물성을 통한 품질특성 및 고형화를 위한 적용시험을 통하여 준설토양을 평가하였다. 또한 실내 물리·화학적 분석을 통하여 준설토양 및 고형화물의 안전성 평가를 하였으며, 향후 콘크리트 골재 적용의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료

본 연구에 사용된 토양 시료는 안양천 상류, 하류 및 준설토양 야적장 등 세 지역에서 채취를 실시하였다. 흡입펌프를 이용해 맨홀 내 준설토양을 흡입 후 수분을 제거하여 시료를 채취하였으며, 제거된 수분은 맨홀로 재방류 시켰다.

채취한 3개의 시료는 실험실로 운반하여 물리학적 분석을 실시하였고, 풍건 후 분석용 시료로 사용하였다. 화학적 분석 시료는 그늘에서 풍건하여 분쇄한 후에 2mm 표준체를 통과한 시료에 대해 일반성분을 분석하였고, 0.15 mm(100 mesh) 체를 통과한 시료에 대해서는 중금속 분석을 실시하였다(Fig. 1).

2.2. 준설토양의 물리·화학적 특성 시험

채취한 3개의 준설토양시료를 통하여 입도분석, 함수비, pH, 염도, 전기전도도, 토양유기물함량, 다짐시험 및 투수계수 등의 물리학적 특성시험과 중금속분석을 통한 화학적 특성시험을 실시하였다.

특히, 입도분석의 경우 KSF 2303에 의거하여 체분석 시험을 실시하였으며, No. 200체를 통과하는 시료에 대해서는 KSF 2308에 의거하여 비중계 분석시험을 실시하였다(Lee et al., 2001; Phae and Oh, 2002; Lee et al., 2007). 함수비는 KS F 2306에 의거하여 시험을 실시하였으며(Phae and Oh, 2002; Lee et al., 2007), 토양유기물함량은 한국 산업규격에 명시된 KS I ISO 10694 측정법을 사용하여 분석하였다(Won et al., 1998; Phae and Oh, 2002). 중금속 분석을 통한 화학적 특성시험은 토양오염공정시험법에 의거하여 실시하였다(Lee et al., 2001; Phae and Oh, 2002).

2.3. 준설토양의 콘크리트 적용성 시험

준설토양의 콘크리트 적용성 시험을 위해 콘크리트와 준설토양시료의 배합안산정, 다짐시험, 투수계수, 일축압축강도 및 토양용출특성평가를 실시하였다.

콘크리트 골재로 준설토양을 사용 시 혼합물의 역학적 특성 분석을 위해 콘크리트에 기본적으로 사용되는 콘크리트와 준설토의 배합량을 설정하여 시험하였다(Table 1, 2). 콘크리트 골재로 준설토양을 사용 시 혼합물의 역학적 특성을 분석하기 위해 본 연구에서 사용된 시멘트는 천연 무수석고, slag powder 등이 적정비율로 혼합된 친환경적 시멘트로 현재 국내 C사의 제품을 사용하였다. 다짐시험



Fig. 1. The treatment of dredged soil samples in this study.

Table 1. Cement & soil mixing ratio for this study

(unit : wt%)

Item	Sample No.	Cement	Dredged Soil
Case 1	Control sample	100	0
Case 2		97	3
Case 3	*sample 1	93	7
Case 4		90	10
Case 5		97	3
Case 6	*sample 2	93	7
Case 7		90	10
Case 8		97	3
Case 9	*sample 3	93	7
Case 10		90	10

*sample 1 : Upstream Soil of Anyang Stream

*sample 2 : Downstream Soil of Anyang Stream

*sample 3 : Dredged soil of yard

Table 2. The mixing amounts in this study in this study(unit : kg/m³)

Item	Sample No.	Cement	Dredged Soil
Case 1	-	50.0	0
Case 2		48.5	1.5
Case 3	sample 1	46.5	3.5
Case 4		45.0	5.0
Case 5		48.5	1.5
Case 6	sample 2	46.5	3.5
Case 7		45.0	5.0
Case 8		48.5	1.5
Case 9	sample 3	46.5	3.5
Case 10		45.0	5.0

의 경우 토양의 함수비를 인위적으로 변화시켜 토양의 공학적 특성을 개량하는 방법으로 본 연구에서는 각 배합안을 대상으로 KS F 2312 규정의 A 다짐방법에 따라 비반복법을 사용하여 다짐시험을 실시하였다(Lee et al., 2007; Ryu, 2012). 또한, 투수계수의 경우 KS F 2322 방법에 따라 변수두시험 및 삼축압축 연성벽시험에 의해 3회 측정 후 평균값을 산출하였으며(Lee et al., 2001; Lee et al., 2007), 일축압축강도시험은 KS F 2328에 의하여 실시하였다(KOGAS, 2012; Lee et al., 2007). 토양용출특성평가의 경우 시멘트와 준설토양의 최적배합안으로 제작된 콘크리트 공시체를 대상으로 토양오염공정시험방법에 의해 중금속 용출에 의한 안정화의 효율성을 평가하였다(Lee et al., 2001; Phae and Oh, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리학적 특성 시험

채취한 3개의 준설토양시료를 통하여 입도분석, 함수비,

pH, 염도, 전기전도도, 토양유기물함량, 다짐시험 및 투수계수 등의 물리학적 특성시험을 실시하였다. 각각의 시험값은 시료당 3회를 측정하여 평균을 산출하였다.

함수비, pH, 염도 및 전기전도도의 결과는 <Table 3>과 같다. 본 연구에 사용된 3개의 준설토양시료의 함수비의 범위는 4.17~22.24%로 나타났으며, pH는 6.90~7.86으로 모든 시료가 중성에 가까운 값을 보였다. 염도의 경우 모든 토양시료에서 N.D로 분석되었다.

전기전도도의 분석결과 73.55~144.20 us/cm로 나타났으며, sample 2에서 가장 높은 144.20 us/cm가 나타났다. 이는 sample 2가 안양천 하류 토양으로 상류 토양에 비해 상대적으로 부유물이 많아 용해성 물질의 누적으로 높은 전기전도도 값을 나타낸 것으로 판단된다(Baek, 2015) 입도분석을 실시한 결과 준설토양시료의 토성은 약 99%가 0.075 mm 이상의 입도를 나타내 sand 토양으로 분석되었다(Fig. 2, 3).

토양유기물함량을 분석한 결과 토양시료의 평균 유기물 함량은 각각 1.33%, 1.26%, 1.17%로 나타났다. 콘크리트

Table 3. The physical test results of dredged soil samples

Sample No.	Moisture content (%)	pH	Salinity (ppt)	EC (us/cm)	Organic content (%)
sample 1	4.17	7.86	N.D.	73.55	1.33
sample 2	22.24	6.90	N.D.	144.20	1.26
sample 3	6.96	7.43	N.D.	88.05	1.17

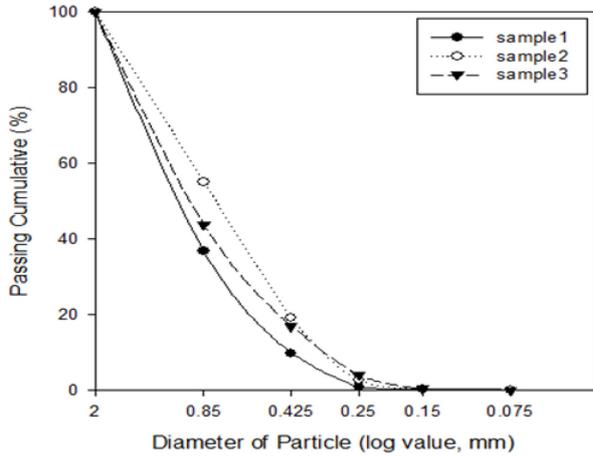


Fig. 2. Gradation curve of dredged soil samples.

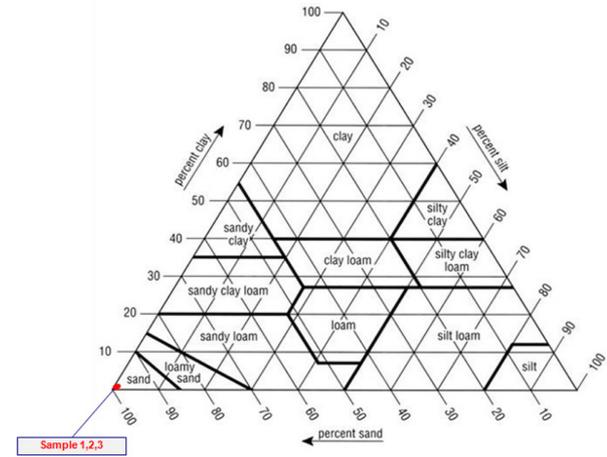


Fig. 3. The cumulative passing rate of dredged soil samples by USDA (United States Department of Agriculture).

골재의 적정 유기물함량 기준이 1.0%이므로 모든 시료가 표토재의 유기물함량 기준에 근접한 값을 보였다.

3.2. 화학적 특성 시험

연구에 사용된 3개의 토양시료의 As, Cd, Cu, Pb, Zn 및 Ni 분석 결과를 <Table 4>에 나타내었다. 토양오염공정시험법에 의거하여 분석한 결과, sample 2에서 Ni, sample 3에서 Zn, Ni이 토양오염 우려기준(1지역)을 초과하였다.

3.3. 준설토양의 콘크리트 적용성 시험

3.3.1. 다짐시험

본 연구에서는 다짐시험을 실시하여 토양시료의 함수비를 인위적으로 변화시켜 토양의 특성을 개량하고자 하였

다. KS F 2312 규정의 A 다짐방법에 따라 10개의 배합안에 대해 최대건조밀도와 최적함수비를 도출하였다. 배합안 산정을 통한 다짐시험 결과는 <Table 5>와 같다. 일반적인 사질토의 경우 최대건조밀도가 증가하고 최적함수비는 감소하게 되며, 점토분이 많은 토양일수록 최대건조밀도가 감소하고, 최적함수비가 커진다(Lee et al., 2007). <Table 5>에 나타난 것과 같이 배합에 따른 다짐시험 결과 최대건조밀도는 2.591~2.694 g/cm³로 분석되었다. 최적함수비는 준설토양의 혼입률이 증가함에 따라 다소 증가하였으며, 이러한 결과는 다짐시험을 위해 물을 첨가하였을 때 시멘트와 혼합되어 있는 준설토양이 시멘트 입자 사이에 존재하게 되면서 생기는 공간으로 물이 흡착이 원활하기 때문일 것으로 사료된다(Lee et al., 2007; Ryu, 2012).

Table 4. Heavy metal concentrations of dredged soil samples

Sample No.	Concentration of Heavy metal (mg/kg)					
	As	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni
Soil Contamination Potential Level (Area 1)	25	4	150	200	300	100
sample 1	15.85	3.49	96.11	N.D.	186.99	20.25
sample 2	18.72	2.16	135.24	N.D.	N.D.	154.62
sample 3	16.65	3.10	128.69	N.D.	309.05	133.67

Table 5. Compaction test results for each case

Item	Test item	Compaction test method (A-a)	
		Maximum dry density (g/cm ³)	*O.M.C (%)
Case 1		2.694	7.84
Case 2		2.647	8.11
Case 3		2.638	8.32
Case 4		2.632	8.51
Case 5		2.638	8.24
Case 6		2.626	8.33
Case 7		2.594	8.62
Case 8		2.624	8.06
Case 9		2.618	8.28
Case 10		2.591	8.55

*O.M.C : Optimum Moisture Content

3.3.2. 투수계수

본 연구에서는 시멘트에 혼합된 10개의 준설토양 배합비에 대한 투수특성을 알아보기 위해 KS F 2322 방법에 따라 투수계수를 측정하였다. 연구에 사용된 10개의 배합비의 투수계수 결과를 <Table 6>에 나타내었다. 연구 결과, 준설토양과 시멘트로 혼합된 콘크리트시료의 투수계수는 각각 $1.2 \times 10^{-11} \sim 8.3 \times 10^{-11}$ cm/sec로 나타났다. 일반적인 콘크리트의 투수저항성은 투수계수로 약 1.0×10^{-11} cm/s(굵은 골재의 경우 직경 평균 38 mm, 물시멘트비 60%, MOLIT, 2010) 정도로 나타나며, 균열발생이 없는 양호한 콘크리트일 경우 거의 불투수의 개념으로 볼 수 있다(Lee et al., 2001; Lee et al., 2007).

3.3.3. 일축압축강도시험

본 연구에서는 콘크리트 주재료인 시멘트에 준설토양을 골재로 활용하기 위하여 총 10개의 배합안으로 일축압축

Table 6. Hydraulic conductivity test of each case

Case No.	Hydraulic conductivity (cm/sec)
Case 1	1.4×10^{-11}
Case 2	2.7×10^{-11}
Case 3	3.8×10^{-11}
Case 4	4.4×10^{-11}
Case 5	8.3×10^{-11}
Case 6	6.3×10^{-11}
Case 7	5.0×10^{-11}
Case 8	1.2×10^{-11}
Case 9	3.8×10^{-11}
Case 10	4.6×10^{-11}

강도시험을 실시하였다. 각 배합안 시험조건에 대해 양생 기간에 따라 3회씩 측정하여 평균값을 나타냈으며, 배합안과 양생기간에 따른 일축압축강도에 대한 결과는 <Table 7>에 나타내었다.

준설토양 첨가량에 따른 일축압축강도의 변화를 알아보기 위해 준설토양 첨가에 따른 재령 7일 후 일축압축강도를 측정된 결과, 국내 콘크리트 품질기준인 21~27 MPa 을 모두 만족하였다.

각 배합안과 양생기간에 따른 재령별 일축압축강도에 대한 결과를 <Fig. 4>에 나타내었다. 모든 배합안에서 양생기간이 길어질수록 일축압축강도는 계속적으로 증가하였으며, 28일 동안 양생 후 가장 높은 강도를 나타냈다. 재령 14일까지의 결과에서 대조군인 case 1보다 큰 강도가 나타난 배합은 없었으나 모든 배합에서 국내 콘크리트 품질기준인 21~27 MPa 이상의 값을 나타내었다. 모든 배합안에서 7일 양생 후에 콘크리트 품질기준을 모두 만족할 수 있었으며, 28일 재령 후에는 모든 공시체에서 가장 큰 일축압축강도를 나타내었다. 따라서 본 연구의 모든 배

Table 7. Compressive strength test results for each case

Item	Compressive strength (MPa)		
	7 day	14 day	28 day
Case 1 (control sample)	35.2	44.3	50.3
Case 2	28.3	32.4	45.2
Case 3	31.1	37.5	49.4
Case 4	33.8	40.6	52.4
Case 5	29.9	37.4	47.4
Case 6	30.3	36.2	47.6
Case 7	32.6	38.1	50.3
Case 8	29.2	35.4	47.3
Case 9	31.7	37.3	48.9
Case 10	33.5	36.4	46.8

Table 8. The concentrations of contaminants leached after 28 days

Case No.	Concentration of Heavy metal (mg/kg)					
	As	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni
Soil Contamination Potential Level (Area 1)	25	4	150	200	300	100
Case 1	2.83	1.15	11.55	16.28	82.65	28.88
Case 2	2.36	3.88	13.21	28.53	110.12	16.75
Case 3	3.67	2.68	9.87	18.63	88.21	21.87
Case 4	4.28	2.55	15.68	11.26	73.56	15.09
Case 5	5.14	2.58	8.08	16.75	61.65	17.63
Case 6	3.82	2.44	18.12	21.76	86.51	22.46
Case 7	7.63	3.36	16.74	8.63	68.63	20.60
Case 8	3.78	2.84	8.65	8.41	76.57	11.10
Case 9	6.62	3.87	6.89	14.12	107.41	12.15
Case 10	3.87	3.09	9.51	11.26	55.67	17.10

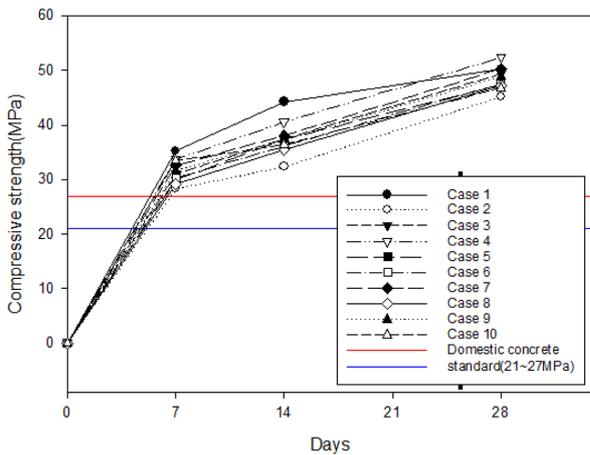


Fig. 4. The result compressive strength curve for each case curing period.

합안에서 최상의 품질기준을 얻기 위해서는 28일 양생시켰을 경우일 것으로 사료된다.

3.3.4. 중금속 용출특성 평가

본 연구에 사용된 혼합 공시체는 화학적으로 안정화되어 중금속 용출이 일어나지 않거나 최소화되어야 콘크리트의 고형화물로 평가할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 시멘트와 준설토양의 최적배합비로 제작된 콘크리트 공시체를 대상으로 토양오염공정시험법에 의거하여 28일 재령 후 중금속 용출특성을 평가하였다. 본 연구에 사용된 10개의 배합비율에 따른 As, Cd, Cu, Pb, Zn 및 Ni 분석결과를 <Table 8>에 나타내었다. 분석한 결과, 모든 시료에서 토양환경보전법상 규제기준을 만족하였다. 따라서 콘크리트 첨가제로서 해당 준설토양을 사용하는 것은 환경

적인 측면에서의 사용은 어려움이 없을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 재활용률이 낮은 하수차집관로 준설토양을 재사용하여 환경부하를 감소시키고, 잔골재 수급불균형 문제를 해결하고자 실내 물리·화학적 분석을 실시하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에 사용된 3개의 토양시료 함수비 결과, 각각 4.17%, 22.24%, 6.96%로 나타났다. 토양시료의 pH는 각각 7.86, 6.90, 7.43으로 안양천 상류 준설토와 야적된 준설토에서 약 알칼리성, 안양천 하류 준설토에서 약산성을 나타내었다. 유기물함량은 각각 1.33%, 1.26%, 1.17%로 나타나 콘크리트 골재의 적정 유기물함량 기준이 1.0%에 근접한 값을 나타내었다.
2. 원소분석결과 탄소의 본 연구에 사용된 3개의 토양시료의 중금속 분석을 실시한 결과, 안양천 하류 준설토에서 Ni이, 야적된 준설토에서 Zn, Ni이 토양오염 우려기준(1지역)을 초과하였다. 그러나 재활용을 위한 시멘트와 혼합된 콘크리트에서는 Zn, Ni의 오염도는 토양오염 우려기준을 만족하고 있다.
3. 배합안에 따른 다짐시험 결과 최대건조밀도는 2.591~2.694 g/cm³로 나타났는데, 이러한 결과는 다짐시험을 위해 물을 첨가하였을 때 시멘트와 혼합되어 있는 준설토양이 시멘트입자 사이에 존재하게 되면서 생기는 공간으로 물이 흡착이 원활하기 때문일 것으로 사료된다.
4. 준설토양 시료의 투수계수는 각각 1.2 × 10⁻¹¹~ 8.3 × 10⁻¹¹ cm/sec로 나타났다. 일반적인 콘크리트의 투수저항성

은 투수계수로 약 1.0×10^{-11} cm/s(굵은 골재 직경 평균 38 mm, 물시멘트비 60%인 경우, MOLIT, 2010)이며 균열이 발생하지 않는 양호한 콘크리트라고 하면 거의 불투수의 개념으로 볼 수 있다.

5. 일반적으로 콘크리트의 모든 배합안에서 양생기간이 길어질수록 일축압축강도는 계속적으로 증가하였으며 28일 동안 양생 후 가장 높은 강도를 나타내고 있다. 본 연구의 결과에서로 준설토의 모든 배합안 역시 가장 강한 일축압축강도를 얻기 위해서는 28일 재령 후일 것으로 사료된다.

6. 토양오염공정시험법에 의거하여 콘크리트 공시체의 28일 재령 후 중금속 용출특성을 분석한 결과, 모든 시료에서 토양환경보전법상 규제기준을 만족하였다. 그러나, 현재 토양법상 준설토를 토양으로 보는 경우 시멘트와의 배합은 희석처리에 해당하여 법적으로 문제가 될 수 있으나, 투수계수, 일축압축강도, 중금속용출특성평가에 대한 지수가 기준을 만족하여 콘크리트 골재로서의 활용성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 골재로서 해당 하수차집관로 준설토양을 사용하는 것은 환경 및 재활용적인 측면에서 권장하여야 할 것이며 자원순환목적에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

References

Baek, D.S., 2015, Typology Approach of Stream for Restoration of Ecological Functions : Focused on Chungju Stream, M.S. Dissertation, Graduate School of Konkuk University, Korea.

CAK (Construction Association of Korea), 2013, 2014 Building materials outlook of construction business, Construction Association of Korea, p.15-19.

KOGAS (Korea Gas Corporation), 2012, Direct small businesses purchase items subject (construction field) specification.

Lee, C.H. and Kim E.J., 1998, Method to the maintenance of pollution sediment of rivers, KEI (Korea Environment Institute), p.65-82.

Lee, J.Y., Koo, J.K., Kim, K.S., Dong, J.I., Park, Y.H., Bae, W.K., Yang, J.W., Yeom, I.T., Yoon, S.P., Lee, J.S., Jang, Y.Y., Chung, J.C., Choi, S.I., Hwang, K.Y., and Hwang, J.S., 2001, Soil environmental engineering, Seoul, Hyangmunsa.

Lee, S., Kim, T.H., and Lee, J.H., 2007, Soil test method, Korea, Goomibook.

Lee, Y.S., Lee, S.S., Song, H.Y., Bae, K.S., Lee, S.B., and Lee, D.H., 2010, Physical properties of dredged sand treated by washing and sorting dredged soil, *LHI Journal*, **1**(1), 35-42.

MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2010, Quality testing standards of construction work.

Phae, C.G. and Oh, J.M., 2002, Soil contamination measurement analysis, Korea, Sinkwang-munhwasa.

Ryu, Y.H., 2012, An Experimental Study on the Quality Properties of Concrete using Dredged Soil, M.S. Dissertation, Graduate School of Hanbat National University, Korea.

Won, J.P., Shin, Y.G., and Ahn, T.S., 1998, Properties of Flowable High-volume Fly Ash-Cement Composites, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Int. Korea Concrete, Korea, p.105-110.